

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕННЯ ТИСКУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТУРБОІМПАКТНИХ СЕПАРАТОРІВ БАГАТОФАЗНИХ СУМІШЕЙ ПАЛИВ

С. С. Рижков, канд. техн. наук;
О. С. Борцов, асп.;
Р. С. Рижков, асп.

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Досліджено вплив підвищення тиску від 0,1 до 7 МПа на ефективність осадження частинок багатофазних сумішей палив у конструкціях сепараторів з коагуляційним та напрямним струминним елементом при витраті робочого середовища від 500 до 2200 кг/год. Обґрунтовано можливість використання турбоімпактних технологій сепарації і реалізуючих їх конструкцій у складі енергетичних установок.

Ключові слова: технологія турбоімпактна, сепаратор, суміш, паливо, тиск, ефективність.

Аннотация. Исследовано влияние повышенного давления от 0,1 до 7 МПа на эффективность осаждения частиц многофазных смесей топлива в конструкциях сепараторов с коагуляционным и направляющим струйным элементом при расходах рабочей среды от 500 до 2200 кг/час. Обоснована возможность использования турбоімпактных технологий сепарации и реализующих ее конструкций в составе энергетических установок.

Ключевые слова: технология турбоімпактная, сепаратор, смесь, топливо, давление, эффективность.

Abstract. The effect of the increased pressure from 0,1 to 7 MPa on the deposition efficiency of particles of the multiphase fuel mixtures in the separators constructions with coagulation and guiding jet members under the operating environment expenditures from 500 to 2200 kg/hour has been studied. The possibility of usage of turboimpact separation technologies and its implementing structures as a part of power plants is proved.

Keywords: turboimpact technology, separator, mixture, fuel, pressure, efficiency.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При експлуатації енергетичних установок необхідно відділення з палив різноманітних домішок і багатофазних сумішей при тиску від 1 до 7 МПа. Багатофазна суміш палив підвищеного тиску має полідисперсний склад твердих та рідких частинок ($d_{\min} = 0,1 \dots 10$ мкм) [1]. Сьогодні існують високоефективні конструкції сепараторів, які використовуються при низьких тисках [10]. Для використання таких сепараторів в умовах підвищеного тиску необхідно дослідити вплив підвищеного тиску на ефективність очищення.

Для підвищення ефективності очищення робочого середовища використовується технологія турбоімпактного переносу. Дослідження очищення багатофазних сумішей палив показали, що можливість ефективності очищення на основі турбоімпактних процесів складає від 90 до 98,8 %. Використання різних конструкцій сепараторів призводить до певного перепаду тисків від 0,1 до 55 кПа, що в свою чергу впливає на ефективність очищення. Такі конструкції сепараторів мають два ступені очистки (рис. 1, поз. 1 та 2) [3].

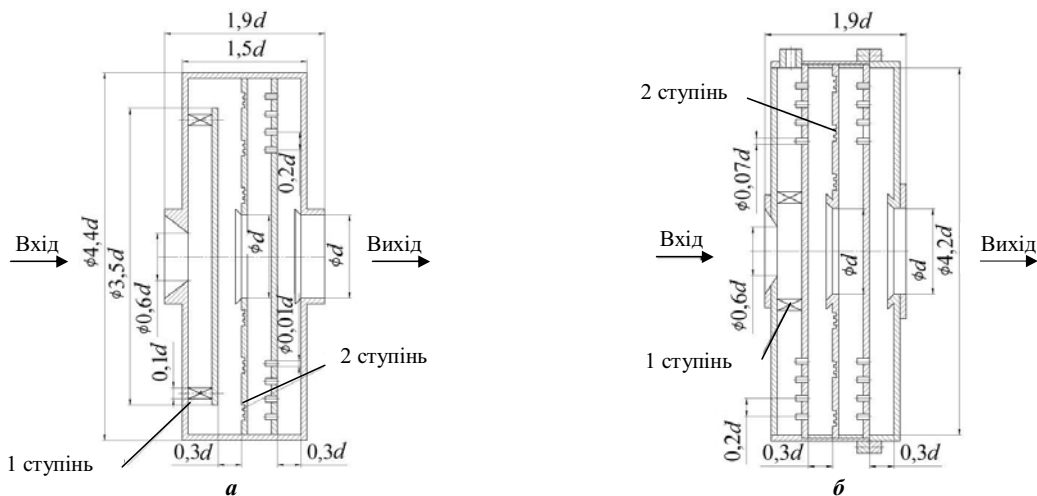


Рис. 1. Конструкції турбоімпактних сепараторів: *а* – з радіальним коагуляційним елементом; *б* – з радіальним напрямним струминним елементом

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ефективність осадження частинок розглядається в роботах таких учених: В.В. Белоусова [1], Є.П. Меднікова [4], В.М. Ужова [5], О.І. Гусевої [2], С.С. Рижкова [6, 8–11], Янга Джо [12], Б.І. Баска [3]. У цих роботах досліджено очищення газів від частинок за рахунок турбулентного переносу, поперечних пульсацій стінок, термофоретичних ефектів при нормальному тиску у досліджуваних конструкціях (1,013 МПа) [4–14]. Особливу увагу очищенню газів приділено у публікації [3], де дослідження проводилось на основі турбоімпактних процесів, що впливають на осадження частинок. Проте результати цих досліджень у недостатній мірі розкривають вплив підвищеного тиску на закономірності сепарації та фільтрування.

МЕТОЮ СТАТТІ є обґрунтування можливості використання існуючих технологій сепарації та конструкцій, які їх реалізують в умовах підвищеного тиску.

Ця мета досягається за умови вирішення наступних задач:

виконати математичне моделювання процесів турбоімпактної сепарації при різних тисках і витратах робочого середовища;

визначити закономірності впливу тиску на зміну полів швидкостей з урахуванням турбоімпактних процесів;

визначити закономірності впливу тиску на зміну газодинамічного опору різних технологій сепарації з урахуванням турбоімпактних процесів;

визначити закономірності впливу тиску на зміну значень коефіцієнта осадження частинок;

на основі отриманої ефективності досліджених технологій і конструкцій, що їх реалізують, надати рекомендації щодо їх експлуатації в складі енергетичних установок конструкцій.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Методи дослідження процесів у турбоімпактних сепараторах багатофазних сумішей підвищеного тиску і метод математичного моделювання з використанням пакета прикладних програм типу ANSYS детально розглянуті у [3].

Для дослідження сепараторів були побудовані сітки в декартовій системі координат за допомогою трикутних сегментів, що відповідали робочій геометрії сепараторів, площа яких не перевищувала $25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$. На рис. 2 представлені тетраедричні розрахункові сітки досліджуваних сепараторів. Розрахункові сітки побудовані у пакетному модулі *AnsysWorkbench*. У місцях зменшення геометричних параметрів конструкції турбоімпактного сепараційного елемента виконано локальне згущення сітки, що складається з більш дрібних елементів (від 120 тис. розрахункових елементів залежно від конструктивного рішення).

Результати дослідження

За результатом математичного моделювання досліджено характеристики процесів сепарації з витратою робочого середовища $G = 500 \dots 2200 \text{ кг/год}$. На рис. 3 і 4 представлено розподіл швидкостей та перепаду тиску у сепараторах при $G = 2200 \text{ кг/год}$ та тиску 2 і 7 МПа. У сепараторі з радіальним коагуляційним елементом спостерігається рівномірний розподіл швидкостей, максимальна з яких дорівнює 43,7 м/с.

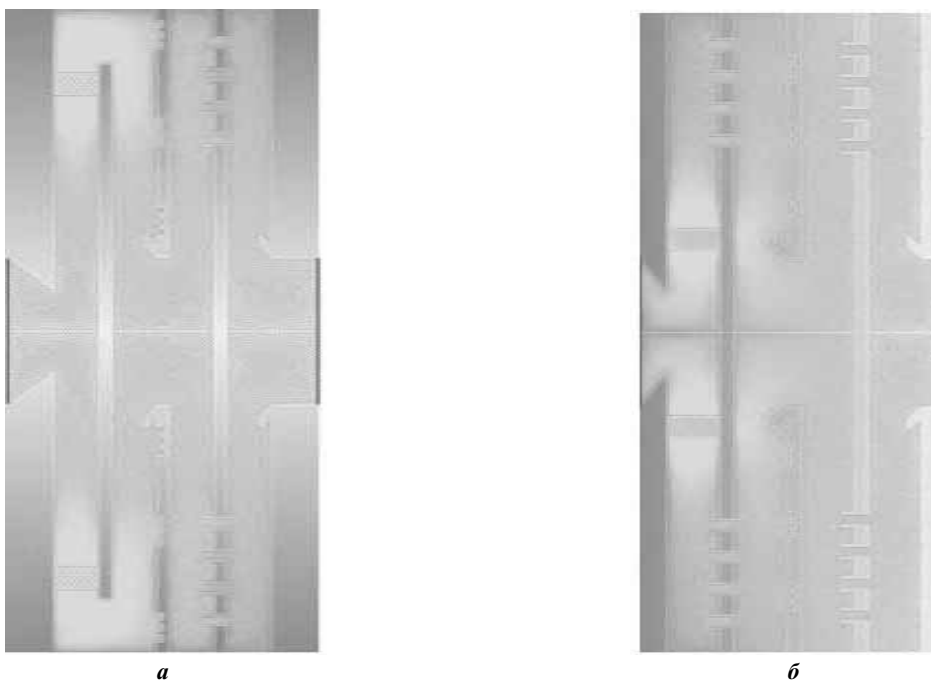


Рис. 2. Розрахункові сітки турбоімпактних сепараторів: *a* – з радіальним коагуляційним елементом; *б* – з радіальним напрямним струминним елементом

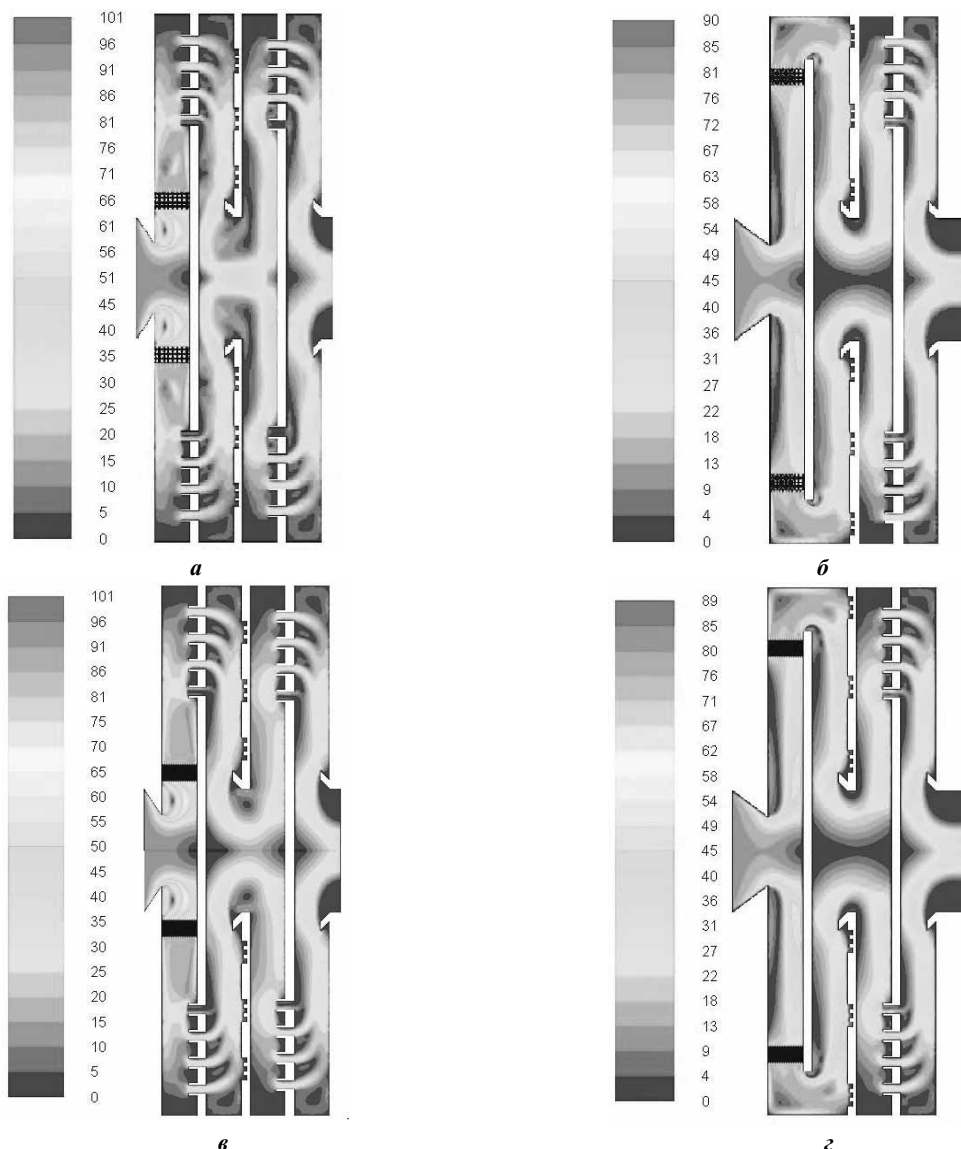


Рис. 3. Розподіл швидкостей у турбоімпульсному сепараторі при $G = 2200$ кг/год: *а, в* – з радіальним коагуляційним елементом; *б, г* – з радіальним напрямним струминним елементом при тиску 2 МПа (*б, в*) і 7 МПа (*г, г*)

У сепараторі з напрямним струминним елементом робоче середовище після проходження сіткового гофрованого елемента потрапляє у другий ступінь сепараційного модулю через сопла діаметром 5 мм, які розташовані по колу у 4 ряди.

Результати розрахунків перепадів тиску проточної частини сепаратора для очистки багатофазних сумішей палив підвищеного тиску від твердої та рідкої фракцій наведені у табл. 1.

У сепараторі з радіальним коагуляційним елементом зі збільшенням тиску з 2 до 7 МПа спостерігається перепад тиску до 2,2 кПа при витраті робочого середовища $G = 1500$ кг/год. У свою чергу, в сепараторі з напрямним струминним елементом максимальний перепад тиску становить 0,7 кПа при

витраті $G = 1500$ кг/год при зростанні тиску з 2 до 7 МПа.

Залежності коефіцієнта осадження від витрати робочого середовища при різних його тисках наведені на рис. 5.

При досліджуваних тисках від 0,1 до 7 МПа у сепараторі з радіальним напрямним струминним елементом спостерігається максимальний коефіцієнт осадження до 99,8 % при витраті робочого середовища 500 кг/год.

З наступним збільшенням витрати до 2200 кг/год відстежується спад вловлювання частинок до 92,8 %, що свідчить про недоцільність використання даної конструкції сепаратора при витратах більше 500 кг/год.

Результати дослідження коефіцієнта осадження частинок у сепараторі з радіальним коагуляційним елементом при тисках від 0,1 до 7 МПа показали, що найменше значення осадження частинок – 99,3 % – збігається з найменшою витратою робочого середовища –

500 кг/год. При збільшенні витрати робочого середовища до 2200 кг/год при робочому тиску від 0,1 до 4 МПа спостерігається зростання коефіцієнта осадження до 99,8 %, але при тиску 7 МПа та витраті більше 1000 кг/год простежується зменшення коефіцієнта осадження до 4 %.

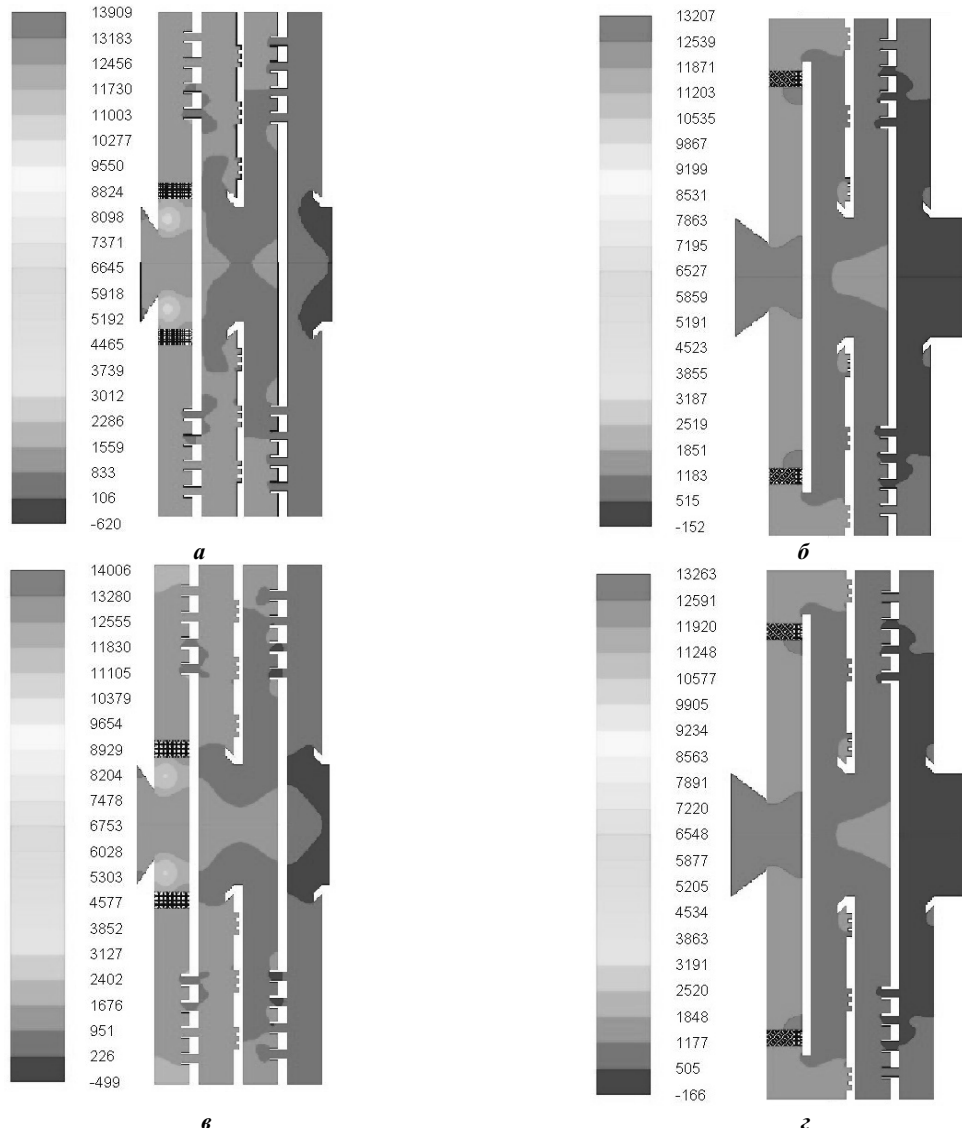


Рис. 4. Розподіл перепаду тиску у турбоімпактівному сепараторі при $G = 2200$ кг/год (позначення, як на рис. 3)

Таблиця 1. Перепад тиску у каналах сепараторів

| Тиск на вході у сепаратори, МПа | Витрата паливно-го газу, кг/год | Перепад тиску у сепараторі, Па | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| | | з радіальним коагуляційним елементом | з радіальним напрямним струминним елементом |
| 2,1013 | 500 | 851,8 | 925,2 |
| | 1000 | 2671,3 | 3367 |
| | 1500 | 6758,5 | 7406,6 |
| | 2200 | 12562,7 | 13054,3 |
| 7,1013 | 500 | 993,1 | 1098,3 |
| | 1000 | 3282,1 | 3534,5 |
| | 1500 | 7450,1 | 9613,7 |
| | 2200 | 13096,6 | 13779,5 |

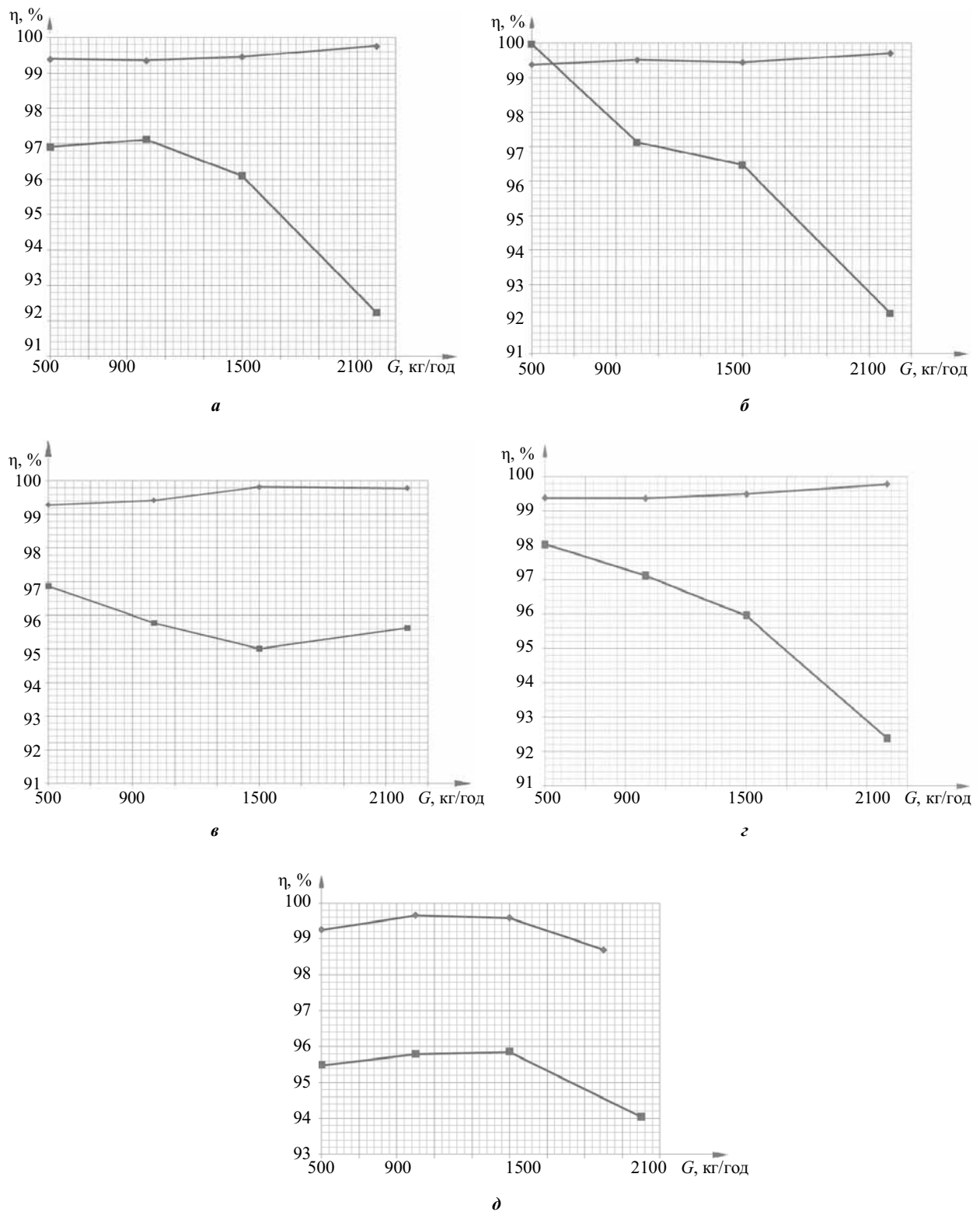


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнта осадження від витрати робочого середовища, МПа: а – 0,1; б – 1; в – 2; г – 4; д – 7

ВИСНОВКИ

1. Турбоімпактна технологія сепарації як послідовність процесів інерційного осадження, ситового ефекту та коагуляції, різкого розвороту потоку на

180°, турбофорезу і дифузіофорезу характеризується впливом тиску на зміну полів швидкостей помірним зменшенням на величину 12 %.

2. Вплив тиску на зміну газодинамічного опору різних технологій сепарації з урахуванням

турбоімпактних процесів характеризується помірним зростанням перепаду тиску до 16 % ($\Delta P = 2,2$ кПа).

3. На основі отриманої ефективності досліджених технологій на рівні 99,8 % можна рекомендувати конструкції для попередньої очистки палива при їх експлуатації в складі енергетичних установок.

4. Для подальшого дослідження впливу підвищення тиску на ефективність турбоімпактних сепараторів багатофазних сумішей палив рекомендується виконати локальний аналіз ефективності окремих елементів турбоімпактних сепараторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Белоусов, В. В.** Теоретические основы процессов газоочистки [Текст] / В. В. Белоусов. – М. : Metallurgia, 1988. – 256 с.
- [2] **Гусева, Е. И.** Осаждение частиц на стенках канала в турбулентном двухфазном потоке под действием различных внешних факторов [Текст] / Е. И. Гусева, Л. И. Зайчик // Современные проблемы газодинамики и теплообмена : тезисы докладов 3-й Всесоюз. школы-семинара. – М. : МГТУ, 1991.
- [3] Інтенсифікація осадження рідкої фази у сепараторах багатофазних сумішей палив підвищеного тиску [Текст] / Б. І. Басок, С. С. Рижков, Р. С. Рижков, О. С. Борцов. – К. : Національна академія наук України, Інститут технічної теплофізики, 2014. – С. 20–26.
- [4] **Медников, Е. П.** Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей [Текст] / Е. П. Медников. – М. : Наука, 1981. – 176 с.
- [5] Очистка промышленных газов от пыли [Текст] / В. Н. Ужов, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков, И. К. Решидов. – М. : Химия, 1981. – 322 с.
- [6] **Рижков, С. С.** Інтенсифікація осадження вискодисперсних частинок у лабіринтному сепараторі за рахунок термофоретичних ефектів [Текст] / С. С. Рижков // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2011.
- [7] **Рыжков, С. С.** Интенсификация осаждения жидких частиц за счет поперечных пульсаций сеток гофрированного коагулятора [Электронный ресурс] / С. С. Рыжков, Н. А. Гончарова // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [8] **Рыжков, С. С.** Исследование газодинамики сепарационного профиля маслоотделителя [Электронный ресурс] / С. С. Рыжков, И. В. Литвинов // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [9] **Рижков, С. С.** Математичне моделювання газодинаміки сепараційного обладнання [Електронний ресурс] / С. С. Рижков, О. О. Московко // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 4. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [10] **Рыжков, С. С.** Разработка и исследование неизотермического газоочистителя для улавливания высокодисперсных аэрозолей в энергетическом оборудовании [Текст] / С. С. Рыжков. – К. : Национальная академия наук Украины, Институт технической теплофизики, 2006. – С. 127–135.
- [11] **Рыжков, С. С.** Численное моделирование осаждения высокодисперсных частиц в проточной части сепарационного оборудования [Электронный ресурс] / С. С. Рижков, С. Ю. Пастухов // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2010. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [12] **Янг, Дж.** Осаждение капель тумана и образование крупнодисперсной влаги в ЦНД паровых турбин : экспериментальное и теоретическое исследование [Текст] / Дж. Янг, К. К. Яо, П. Т. Уолтерз // Современное машиностроение. – 1989. – № 4. – С. 89–98.
- [13] Filtration + Separation // Elsevier Science UK. – 2002. – Vol. 39, № 10. – P. 48.
- [14] Filtration + Separation / Word Buyers' Guide and Directory // Elsevier Science UK. – 2003. – P. 200.

© С. С. Рижков, О. С. Борцов, Р. С. Рижков
 Надійшла до редколегії 27.05.13
 Статтю рекомендує до друку
 д-р техн. наук, проф. А. П. Шевцов